

IAP12 Rec'd PCT/PTO 01 MAY 2006

MAGNA STEYR
Fahrzeugtechnik AG&CoKG

G3564at1

10

AKTUATOR MIT EINEM ELEKTRISCHEN STELLMOTOR UND
STUEBERBARE REIBUNGSKUPPLUNG MIT EINEM SOLCHEN

15

Die Erfindung betrifft einen Aktuator bestehend aus einem elektrischen
Stellmotor, einem Übertragungsmechanismus und einem Stellglied, wobei
20 das Stellglied durch Ansteuerung des Stellmotors in eine bestimmte Stellung
bringbar und in dieser auch haltbar und der Stellmotor ein Gleichstrommotor
ist, der aus einem ersten Teil mit einer Anzahl am Umfang verteilter Perma-
nentmagneten und aus einem zweiten Teil besteht, der Polzähne mit Win-
kungen aufweist, die mit kommutiertem Strom gespeist werden, und wobei
25 einer der beiden Teile bezüglich des anderen drehbar ist.

Aktuatoren werden für die Automatisierung der verschiedensten Anlagen
und Vorrichtungen verwendet, insbesondere auch für die Schaltung von Ge-
trieben, für die Betätigung steuerbarer Kupplungen, etwa in Kraftfahrzeugen,
30 und in diesen auch für Fensterheber, Sitzverstellungen oder dergleichen. Bei
allen diesen Anwendungen ist auch bei vollzogener Schaltung beziehungs-
weise Einstellung die geschaltete Position/Einstellung zu halten.

Dazu gibt es prinzipiell drei Möglichkeiten: Primo: Der Übertragungsme-
35 chanismus ist selbsthemmend, etwa ein hoch übersetztes Schneckengetriebe.

5 Das aber verschlechtert den Wirkungsgrad erheblich und erfordert einen leistungsstärkeren, größeren, Motor. Sekundo: Der Motor bleibt auch in der jeweiligen Stellung unter Strom, einem Haltestrom. Der ist zwar kleiner, führt über längere Zeit aber zu erhöhter thermischer Belastung des Motors und braucht Energie. Ausserdem muss er sehr genau eingestellt sein. Tertio: Eine
10 zusätzliche Bremse, die den Bauaufwand beträchtlich erhöht und eigens angesteuert werden muss. Alle drei Möglichkeiten sind unbefriedigend, unabhängig davon, von welcher Art oder der Bauweise der Stellmotor ist.

So werden als Stellmotor auch Gleichstrommotoren eingesetzt, die aus einem ersten Teil mit einer Anzahl am Umfang verteilter Permanentmagneten
15 und aus einem zweiten Teil bestehen, der Polzähne mit Wicklungen aufweist, die mit kommutiertem Strom gespeist werden. Dabei ist Gleichstrommotor im weiteren Sinn zu verstehen, er kann ein konventioneller Gleichstrommotor mit Bürsten oder ein bürstenloser Gleichstrommotor (= „brushless DC“)
20 sein. Bei letzterem erfolgt die Kommutation durch eine geeignete Speiseschaltung auf elektronischem Wege. Der erste Teil kann sowohl der Rotor als auch der Stator sein und hat zweckmäßigerweise mindestens zwei am Umfang verteilte Permanentmagneten. Der zweite Teil kann sowohl der Stator als auch der Rotor sein, wobei der Rotor innerhalb oder ausserhalb des
25 Stators sein kann. Auch kann der erste oder zweite Teil als Scheibe ausgeführt sein, der Motor ist dann ein sogenannter Scheibenläufer. Oft aber ist der erste Teil mit den Permanentmagneten der Stator und der zweite Teil der innenliegende zylindrische Rotor. Anzumerken ist, dass es sich hier nicht um Schrittmotoren handelt, die um eine bestimmte Anzahl Schritte von definiertem Winkel
30 weiterschalten und dazu bestromt werden müssen.

Es ist Ziel der Erfindung, einen Aktuator vorzuschlagen, der in möglichst einfacher Weise das Halten einer angefahrenen Stellung ohne die obigen

5 Nachteile erlaubt. Erfindungsgemäß wird das dadurch erreicht, dass der erste Teil (das ist der mit den Permanentmagneten) über seinen Umfang abwechselnd erste Zonen kleiner magnetischer Feldstärke und zweite Zonen hoher magnetischer Feldstärke aufweist, wobei der Umfangswinkel der zweiten Zonen im Wesentlichen (das heisst ungefähr) gleich dem Umfangswinkel der
10 Polzähne des zweiten Teiles ist, und wobei weiters die Anzahl der gleichmäßig am Umfang verteilten Polzähne so gewählt ist, dass immer alle zweiten Zonen gleichzeitig von einem Polzahn passiert werden, sodass bei Durchdrehen des Motors in unbestromtem Zustand zwischen dem ersten Teil und dem zweiten Teil ein pulsierendes Drehmoment ausgeübt wird. In den Posi-
15 tionen, in denen dieses Drehmoment ein Minimum ist, in den sogenannten „Rastpositionen“, wirkt ein Haltemoment, das den drehbaren Teil des Motors zu halten bestrebt und geeignet ist.

Durch die erfindungsgemäßen Massnahmen wird das Gegenteil von dem er-
20 reicht, was man normalerweise anstrebt, nämlich das Bremsmoment im stromlosen Zustand (=cogging torque) zu verringern. Durch die ersten Zonen zwischen den Permanentmagneten wird die Reluktanz des Motors im stromlosen Zustand winkelabhängig vergrößert. Die Reluktanz liefert dann in den Rastpositionen – deren Lage und Anzahl von der Anordnung von Perma-
25 nentmagneten und Polzähnen abhängt – ohne Bestromung das Haltemoment, das durch die erfindungsgemäßen Maßnahmen besonders stark wird. Es wird so stark, dass es in Verbindung mit einem reibungsbehafteten Übertragungsmechanismus ausreicht, um angefahrne Positionen des Stellgliedes zu halten, selbst wenn das Nennmoment des Aktuators am Abtrieb des Übertra-
30 gungsmechanismus anliegt. Zu betonen ist, dass der Stellmotor selbst nicht (wie ein Schrittmotor) in einer genau definierten Lage stehen bleibt, sondern in der der jeweiligen Position nächstliegenden durch das permanente Magnetfeld bestimmten Rastposition.

5

Der Übertragungsmechanismus kann ein nicht selbsthemmendes Getriebe sein. Die dann geringere Reibung und die Übersetzung reichen im Verbund mit der erfindungsgemäß erhöhten Reluktanz zum Halten der Position aus. Im Stellbetrieb (also bestromt) überwindet der Stellmotor mit Hilfe seiner
10 Wicklung die von der Reluktanz ausgeübte Bremswirkung und führt die gewünschte Stellbewegung mit seiner normalen Geschwindigkeit aus.

Die erfindungsgemäßen Maßnahmen können auf verschiedene Weise umgesetzt werden: In einer ersten Ausführungsform werden die ersten Zonen
15 kleiner magnetischer Feldstärke und die zweiten Zonen hoher magnetischer Feldstärke durch über den Umfang variable Aufmagnetisierung des (der) Permanentmagneten erzeugt (Anspruch 2). Diese besonders einfache und billige Bauweise eignet sich besonders für kleine Stellmotoren und Massenfertigung.

20

In einer zweiten Ausführungsform werden zumindest einige der ersten Zonen kleiner magnetischer Feldstärke durch Zwischenräume zwischen zwei benachbarten Permanentmagneten gebildet (Anspruch 3). Dabei sind die Polzähne gleichmäßig über den Umfang verteilt und in der Zahl und Anord-
25 nung der Permanentmagneten besteht eine gewisse Gestaltungsfreiheit.

In einer dritten Ausführungsform werden zumindest einige der ersten Zonen kleiner magnetischer Feldstärke durch Vergrößerung des Luftspaltes in radialer Richtung in zumindest einzelnen Permanentmagneten geschaffen, deren
30 Umfangswinkel ein Mehrfaches des Umfangswinkels der Polzähne ist (Anspruch 4). So wird eine kleinere Anzahl an Permanentmagneten gebraucht, die dafür mehreren Polzähnen zugeordnet sind. Die Vergrößerung des Luft-

5 spalten in radialer Richtung kann in verschiedener Weise erreicht werden, vorzugsweise durch in die Permanentmagneten eingearbeitete Nuten.

Zur Maximierung der erfindungsgemäßen Reluktanzbremsung bestreichen zumindest einige der ersten Zonen kleiner magnetischer Feldstärke ungefähr
10 denselben Umfangswinkel wie die Zwischenräume in Umfangsrichtung zwischen den Polzähnen (Anspruch 5) und liegt dieser Umfangswinkel in dem Bereich zwischen 0,2 und 0,3 mal dem Umfangswinkel der Polzähne (Anspruch 6). Dadurch kommen die Feldlinien des durch die Permanentmagneten aufgespannten Magnetfeldes so zu liegen, dass ihre Bremswirkung be-
15 sonders groß ist.

In ähnlicher Weise wirkt auch eine weitere Maßnahme zur Maximierung der Reluktanzbremsung. Sie besteht darin, dass die Dicke der Spitzen der Polzähne in radialer Richtung kleiner als der Abstand der Spitzen zweier be-
20 nachbarter Polzähne ist (Anspruch 7). Die Spitzen der Polzähne sind im Querschnitt die Zwischenräume zwischen den Polzähnen in Umfangsrichtung begrenzenden Enden. Wenn diese dünn sind, werden durch das permanente Magnetfeld nur kleine Wirbelströme und Randströme induziert.

25 Eine besonders einfache und vom Konventionellen am wenigsten abweichende Bauweise besteht darin, dass der erste Teil der Stator und der zweite Teil der innenliegende Rotor ist (Anspruch 8). Eine besonders vorteilhafte und wartungsfreie Bauweise ist bei elektronischer Ansteuerung des Motors möglich. Mit einer solchen Ansteuerung kann die Kommutation auf elektro-
30 nischem Weg bewerkstelligt werden. In dieser Bauweise ist der zweite Teil der Stator und der erste Teil der innenliegende Rotor. Das ist ohne Mehraufwand an Hardware möglich, wenn eine elektronische Ansteuerung sowieso vorhanden ist.

5

Die Erfindung betrifft auch eine steuerbare Reibungskupplung mit einem Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 9 (Anspruch 10). Bei Reibungskupplungen sind die eingangs erwähnten Nachteile der bekannten Aktuatoren gravierend und das der Erfindung zugrundeliegende Problem ist besonders groß. Bei Mehrscheibenkupplungen im Antriebsstrang eines Kraftfahrzeuges ist obendrein in bestimmten Fahrsituationen (Bremsen mit ABS) ein sehr schnelles Ansprechen geboten. Es hat sich gezeigt, dass der erfindungsgemäße Aktuator die Kupplung durch sein schnelles Ansprechen bei entsprechender Bestromung schnell öffnet und trotzdem auch tatsächlich gegen die Wirkung der Kupplungsfeder(n) hält.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform einer solchen Kupplung ist der Übertragungsmechanismus ein Zahnradgetriebe und das Stellglied besteht aus zwei relativ zueinander verdrehbaren Rampenringen, wobei je nach Anordnung zumindest einer verdrehbar ist (Anspruch 11). Ein solches Stellglied ist besonders reibungsarm und feinfühlig und der Aktuator kann dank der erfindungsgemäßen Gestaltung sehr schnell und mit geringer Trägheit reagieren.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Abbildungen beschrieben und erläutert. Es stellen dar:

Fig. 1: Schema einer Kupplung mit einem Erfindungsgegenstand,

Fig. 2: Querschnitt nach AB in Fig. 1 eines erfindungsgemäßen Stellmotors in einer ersten Ausführungsform,

Fig. 3: wie Fig. 2 in einer zweiten Ausführungsform,

Fig. 4: wie Fig. 2 in einer dritten Ausführungsform,

Fig. 5: wie Fig. 2 in einer vierten Ausführungsform.

5

In **Fig. 1** ist der Aktuator summarisch mit 1 und die Kupplung mit 2 bezeichnet. Der Aktuator setzt sich aus einem von einem Steuergerät 3 angesteuerten Stellmotor 4, einem Übertragungsmechanismus 5 und einem Stellglied 6 zusammen, mittels welchem an der Kupplung 2 eine bestimmte Anpresskraft beziehungsweise ein bestimmtes zu übertragendes Drehmoment eingestellt wird. Das von der Kupplung 2 zu übertragende Drehmoment wird vom Steuergerät 3 aus fahrdynamischen oder anderen Größen ermittelt, und über die Stromzufuhr zum Stellmotor 4 entsprechend eingestellt.

15 Die Kupplung 2 selbst, eine Lamellen- oder Mehrscheibenkupplung, ist nur schematisch dargestellt, weil von der üblichen Bauweise. Sie besteht aus einem Primärteil 10 mit Primärwelle und Primärlamellen und aus einem Sekundärteil 11 mit einem Sekundärteil und Sekundärlamellen. Die Lamellen beider Teile 10,11 sind mittels einer Andruckplatte 12 zusammenpressbar, auf die ein Stellglied 6 wirkt. Das Stellglied 6 besteht aus einem ersten Rampenring 13 und einem zweiten Rampenring 14 mit dazwischen liegenden Kugeln 15. Mit 16,17 sind Drucklager angedeutet, die die Rampenringe gegenüber nicht oder mit anderer Drehzahl umlaufenden Teilen abstützen.

25 Derartige Stellglieder sind ebenfalls an sich bekannt und allgemein üblich. Einer der beiden Rampenringe, hier der Ring 13, wird von einem Ritzel 18 in Drehung versetzt, welches den Abtrieb des Getriebes 5 bildet. Das Getriebe 5 ist ein Untersetzungsgetriebe, beispielsweise ein Stirnradgetriebe oder ein Wellengetriebe („Harmonic drive“) oder ein Schneckengetriebe, welches dank der Erfindung nicht selbsthemmend zu sein braucht. Im Rahmen der
30 Erfindung sind auch andere Übertragungsmechanismen und andere Stellglieder einsetzbar, die Erfindung ist nicht auf das gezeigte Ausführungsbeispiel beschränkt. So könnten etwa beide Rampenringe 13,14 über einen Verdreh-

5 nocken und Scherenhebel (beides nicht dargestellt) betätigt werden. Überhaupt können anstelle der Rampenringe auch andere Mechanismen verwendet werden.

Fig. 2 zeigt eine erste Ausführungsform des Stellmotors 4 im Detail. Er besteht aus einem Stator 20 und einem Rotor 25. Der Stator 20 ist hier als Permanentmagnet in Form eines rundum geschlossenen Hohlzylinders ausgebildet, auf dem erste Zonen kleiner magnetischer Feldstärke 21 sich mit zweiten Zonen großer magnetischer Feldstärke 22 abwechseln. Deren Polung ist mit den Buchstaben N und S in der Zeichnung angegeben. Die ersten Zonen 21 des Stators 20 bestreichen jeweils einen Umfangswinkel 23, die dazwischenliegenden zweiten Zonen einen Umfangswinkel 23'. Der Rotor 25 besitzt hier sechs Polzähne 27 mit Wicklung 26. Die Form der Polzähne 27 ist anhand der Fig. 3 näher beschrieben. Der Umfangswinkel der Polzähne 27 ist mit 28 bezeichnet, der der Zwischenräume zwischen den Polzähnen mit 28'. Da es sich um einen Gleichstrommotor handelt, erfolgt die Stromzufuhr zum Rotor 25 über einen Kommutator 29.

Die Ausführungsform der Fig. 3 unterscheidet sich von der vorhergehenden nur in der Ausbildung des Stators, der Rest ist wie anhand der Fig. 2 beschrieben. Der Stator 30 ist hier mit zwei Paaren von Permanentmagneten 31 bestückt; deren Polung eingezeichnet ist. Es könnte aber noch ein weiteres Paar 31', strichliert, vorgesehen sein. Zwischen den Permanentmagneten 31 sind Zwischenräume 32. Der Umfangswinkel der Permanentmagneten 31 ist mit 33 bezeichnet, der Umfangswinkel der Zwischenräume 32 mit 33'. Der Rotor 35 mit Wicklung 36 und Polzähnen 37 ist wie in Fig. 2. Der Umfangswinkel der Polzähne 37 ist mit 38 bezeichnet und der der Zwischenräume 32 mit 38'. Die Spitzen 39 der Polzähne, das sind die an die Zwi-

5 schenräume zwischen den Polen anschließenden Enden, sind in radialer Richtung möglichst dünn.

Die Ausführungsform der **Fig. 4** unterscheidet sich von der der **Fig. 3** nur dadurch, dass anstelle von zwei Permanentmagneten 31 mit Zwischenraum
10 32 ein einziger Permanentmagnet 40 mit einer Nut 42 vorgesehen ist. Diese Nuten 42 sind eine Möglichkeit, eine Zone vergrößerter Spaltweite zu schaffen. Unter Spalt ist hier der mit 42' bezeichnete Luftspalt zu verstehen, der, von einem Polzahn des sich drehenden Rotors aus betrachtet, bei Passieren der Nuten 42 größer wird. Alles andere ist gleich, die Bezugszeichen sind die
15 der **Fig. 3**, um 10 erhöht.

In der Ausführungsform der **Fig. 5** sind die Verhältnisse umgekehrt. Hier ist es nicht der Stator, sondern der Rotor 50, der den ersten Teil des Motors mit dem bzw. den Permanentmagneten bildet. Die ersten Zonen kleiner magneti-
20 scher Feldstärke 51 und die zweiten Zonen großer magnetischer Feldstärke 52 sind hier am Rotor 50 ausgebildet. Dazu bestehen wieder die anhand der vorhergehenden Figuren beschriebenen Möglichkeiten; eingezeichnet ist nur die der **Fig. 3** entsprechende. Diese Zonen 51, 52 nehmen Umfangswinkel 53, 53' ein. Hier ist es daher der Stator 55, der Wicklungen 56 aufnimmt und
25 Polschuhe 57 (entsprechend den Polzähnen der vorhergehenden Ausführungsbeispiele) besitzt. Die Umfangswinkel der Polschuhe 57 und der Zwischenräume 59 sind mit 58 bzw. 58' bezeichnet. Dadurch, dass die Wicklungen 56 im Stator sind und daher nicht über einen „mechanischen Kommutator“ gespeist werden, muss den Wicklungen 56, 56' und gegebenenfalls vor-
30 handenen weiteren Wicklungen der Erregerstrom in bereits kommutierter Form zugeführt werden. Diese „elektronische Kommutation“ erfolgt im Steuergerät 3. Dabei ist das Steuergerät 3 hier nur summarisch gemeint, es kann verschiedene Funktionen in sich vereinen.

5

Insgesamt wird durch die beschriebenen Anordnungen erreicht, dass der stromlose Stellmotor in der in den Fig. 2 bis Fig. 5 dargestellten Stellung stehenbleibt und dort nur durch die Wirkung der Permanentmagneten gegen eine gewisse Kraft festgehalten wird. Da bei allen gezeigten Ausführungs-
10 beispielen des Stellmotors dreizählige Symmetrie herrscht, entsprechen der dargestellten Position genau genommen sechs verschiedene Positionen.

15

5 M A G N A S T E Y R
Fahrzeugtechnik AG&CoKG

G3564at1

10

A n s p r ü c h e

- 15 1. Aktuator bestehend aus einem elektrischen Stellmotor, einem Übertragungsmechanismus und einem Stellglied, wobei das Stellglied durch Ansteuerung des Stellmotors in eine bestimmte Stellung bringbar und in dieser auch haltbar und der Stellmotor ein Gleichstrommotor ist, der besteht aus einem ersten Teil mit einer Anzahl am Umfang verteilter Permanentmagne-
- 20 ten und aus einem zweiten Teil, der Polzähne mit Wicklungen aufweist, die mit kommutiertem Strom gespeist werden, dadurch **gekennzeichnet**, dass
- a) der erste Teil (20;30;40;50) über seinen Umfang abwechselnd erste Zonen kleiner magnetischer Feldstärke (21;31;41;51) und zweite Zonen hoher magnetischer Feldstärke (22;32;24;52) aufweist, wobei der Umfangswinkel (23;33;34;35) der zweiten Zonen (22;32;24;52) gleich dem Umfangswinkel (28;38;48;58) der Polzähne (27;37;47;57) des zweiten Teiles
- 25 (25;35;45;55) ist,
- 30 b) wobei die Anzahl der gleichmäßig am Umfang verteilten Polzähne (27; 37; 47;57) so gewählt ist, dass immer alle zweiten Zonen (22;32;24;52) gleichzeitig von einem Polzahn (27;37;47;57) passiert werden,

5 c) sodass in unbestromtem Zustand zwischen dem ersten Teil (20;30;40;50) und dem zweiten Teil (25;35;45;55) ein erhöhtes pulsierendes Drehmoment ausgeübt wird.

2. Aktuator nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass die ersten 10 Zonen kleiner magnetischer Feldstärke (21) und die zweiten Zonen hoher magnetischer Feldstärke (22) durch über den Umfang variable Aufmagnetisierung des (der) Permanentmagneten (20) erzeugt werden.

3. Aktuator nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass zumindest 15 einige der ersten Zonen kleiner magnetischer Feldstärke (31) durch Zwischenräume zwischen zwei benachbarten Permanentmagneten (32) gebildet werden.

4. Aktuator nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass zumindest 20 einige der ersten Zonen kleiner magnetischer Feldstärke (41) durch Vergrößerung des Luftspaltes (41') in radialer Richtung in zumindest einzelnen Permanentmagneten (42) geschaffen werden, deren Umfangswinkel (43) ein Mehrfaches des Umfangswinkels (48) der Polzähne (47) ist.

25 5. Aktuator nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Umfangswinkel (23';33';43';53') zumindest einiger der ersten Zonen kleiner magnetischer Feldstärke (21;31;41;51) ungefähr gleich dem Umfangswinkel (28'; 38';48';58') der Zwischenräume in Umfangsrichtung zwischen den Polzähnen (27;37;47;57) ist.

30

6. Aktuator nach Anspruch 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass dieser Umfangswinkel (23';33';43';53') in dem Bereich zwischen 0,2 und 0,3 mal dem Umfangswinkel (28;38;48;58) der Polzähne (27;37;47;57) beträgt.

5

7. Aktuator nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Dicke der Spitzen (39) der Polzähne (27;37;47) in radialer Richtung kleiner als der Abstand der Spitzen zweier benachbarter Polzähne ist.

10 8. Aktuator nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass der erste Teil (20;30;40) der Stator und der zweite Teil (25;35;45) der innenliegende Rotor ist.

9. Aktuator nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass der zweite
15 Teil (55) der Stator und der erste (50) Teil der innenliegende Rotor ist.

10. Steuerbare Reibungskupplung mit einem Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 9.

20 11. Steuerbare Reibungskupplung nach Anspruch 10, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Übertragungsmechanismus (5) ein Zahnradgetriebe ist und das Stellglied (6) aus zwei relativ zueinander verdrehbaren Rampenringen (13,14) besteht, wovon zumindest einer über den Übertragungsmechanismus (5) verdrehbar ist.

25

10

Z u s a m m e n f a s s u n g

15 Ein Aktuator besteht aus einem elektrischen Stellmotor, einem Übertra-
gungsmechanismus und einem Stellglied, wobei der Stellmotor ein
Gleichstrommotor ist, der aus einem ersten Teil mit Permanentmagneten
und aus einem zweiten Teil mit Wicklungen und Polzähnen besteht. Um
den Aktuator in einer beliebigen angefahrenen Stellung ohne zusätzliche
20 Vorrichtungen halten zu können, weist der erste Teil (30) über seinen
Umfang abwechselnd erste Zonen kleiner magnetischer Feldstärke (31)
und zweite Zonen hoher Feldstärke (32) auf, wobei der Umfangswinkel
(33) der zweiten Zonen (32) gleich dem Umfangswinkel (38) der Polzäh-
ne (37) des zweiten Teiles (35) ist, wobei die Anzahl der Polzähne (37) so
25 gewählt ist, dass immer alle zweiten Zonen (32) gleichzeitig von einem
Polzahn (37) passiert werden, sodass bei Drehung in unbestromtem Zu-
stand zwischen dem ersten Teil (30) und dem zweiten Teil (35) ein pul-
sierendes Drehmoment ausgeübt wird.

30

Abbildung: Fig. 3